

Розглянута методика розрахунку механічної характеристики тягового синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів і визначення максимальної частоти обертання за наслідками розрахунку магнітного поля методом кінцевих елементів

УДК 621.313

Б.Г. Любарський, канд. техн. наук

Т.В. Глебова, Є.С. Рябов

Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут»

М.Л. Глебова, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

Д.Ю. Зюзін, канд. техн. наук

Національний технічний університет

«Харківський Політехнічний

Інститут»

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

На електрорухомому складі передових в технічному відношенні країн зараз використовуються тягові електроприводи на базі асинхронних двигунів [1-7]. Проте останнім часом розглядається питання про створення рухомого складу з тяговими синхронними двигунами одним з типів, якого є тяговий двигун зі збудженням від постійних магнітів. Питомі енергетичні показники таких двигунів вище за асинхронні к.к.д. на 5..10%, а коефіцієнт потужності їх досягає величини 0,95. Основною проблемою при створенні тягового приводу такого типу є відсутність адекватної теорії проектування. Основною складовою цієї теорії проектування є методика розрахунку характеристик тягового двигуна та приводу в цілому. В роботі [5] представлений алгоритм управління тяговим двигуном і методика визначення кута управління двигуна залежно від режиму роботи приводу. Найважливішою характеристикою тягового двигуна є механічна характеристика (залежність електромагнітного моменту від частоти обертання двигуна) яка визначає тягову характеристику рухомого складу.

В роботі поставлена ціль: розробити методику розрахунку механічної характеристики тягового синхронного двигуна із збудженням від постійних магнітів

Згідно алгоритму приведенного в [5] тяговий привід має дві зони керування. В першій зоні напруга двигуна напруга монотонно зростає до номінальної напруги (рис. 1) кут навантаження підтримується постійним рівним 90° ел. електромагнітний момент в такому режимі підтримується постійним. В другій зоні напруга живлення і струм фази підтримуються постійними, а частота обертання двигуна змінюється виключно за рахунок зміни кута навантаження двигуна шляхом зміни кута керування. В другій зоні керування підтримується постійній потужність, споживана двигуном.

Основною проблемою при побудові механічної характеристики є проблема визначення максимальної частоти обертання тягового двигуна в другій зоні керування. При керуванні двигуном шляхом зміни кута навантаження з'являється подовжня розмагнічуюча реакція якоря і змінюється поперечна реакція якоря. При цьому потік і індукція на поверхні постійного магніту може різко зменшитися, що у свою чергу може привести до часткового розмагнічування постійних магнітів при їх недостатній товщині.

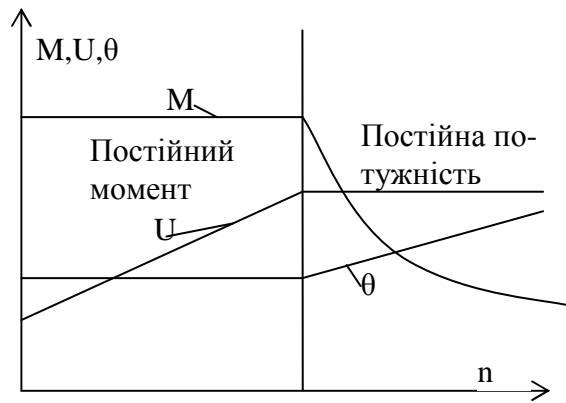


Рис. 1.

Для більшості вживаних в даний час постійних магнітів мінімальна критична індукція лежить в межах 0,05..0,2 Тл. Визначення величини індукції на поверхні постійного магніту раціонально проводити за наслідками розрахунку магнітного поля двигуна так, як аналітичні методи не дають можливості врахувати нерівномірність розподілу індукції в повітряному зазорі зважаючи на зубчасту структуру статора двигуна.

Для розрахунку магнітного поля двигуна пропонується використовувати метод кінцевих елементів в двовимірній постановці задачі, який реалізований в програмному комплексі FEMM [8].

В роботі наведений приклад побудови механічної характеристики для тягового двигуна електропоїзда, основні характеристики якого приведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Параметри тягового двигуна

Параметр	Величина
Потужність двигуна	210 кВт
Номінальна частота обертання	950об/хв
Фазна напруга живлення	470 В
Фазний струм	148,8 А
Опір обмотки статора	0,0742 Ом
Число пар полюсів	3
Зовнішній діаметр статора	650 мм
Довжина статора	300 мм
Товщина постійного магніта	15 мм
Довжина повітряного зазора	3 мм

На рис.2 приведена модель магнітного поля тягового двигуна.

Задаючись значеннями кута навантаження двигуна від $\frac{\pi}{2}$ до π є проведений розрахунок поля двигуна. За наслідками розрахунку поля визначено електромагнітний момент, потікозчеплення фаз статора і мінімальне значення індукції на поверхні полюса. Оскільки зубчатість статора значно впливає на розподіл індукції в повітряному зазорі і як наслідок на поверхні постійного магніту ротор двигуна знаходиться в такому положенні, що краї постійного магніту знаходяться під зубцями статора.

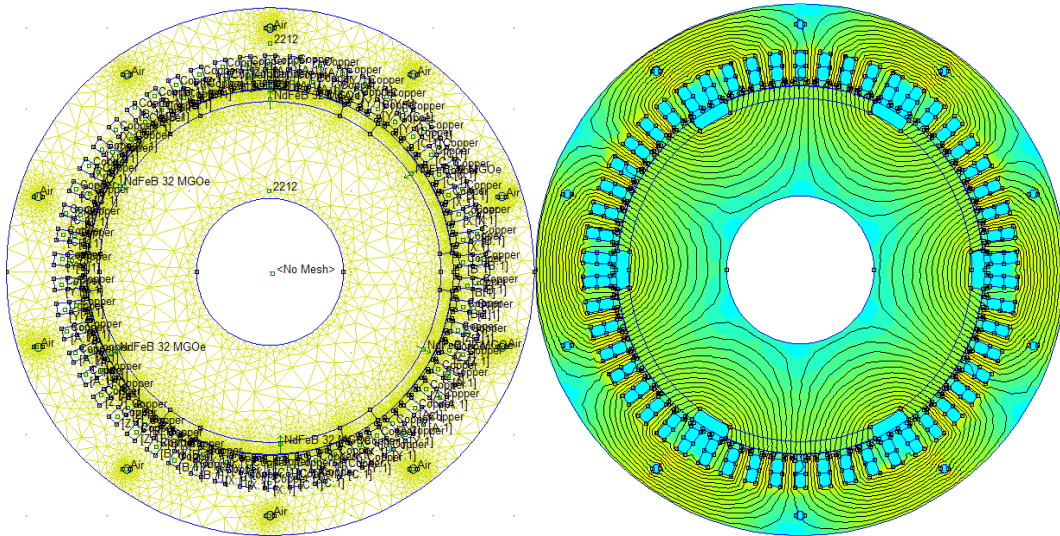


Рис. 2 Модель магнітного поля тягового синхронного двигуна із збудженням від постійних магнітів

Для визначення частоти обертання двигуна скористаємося методикою частково приведеною в роботах[7]. Вона заснована на аналізі векторної діаграми синхронного двигуна.

Спочатку визначимо потікозчеплення обмотки статора по осі d і по осі q :

$$\Psi_d = \Psi_B - \frac{1}{2}(\Psi_A + \Psi_C)$$

$$\Psi_q = \frac{\sqrt{3}}{2}(\Psi_A - \Psi_C)$$

де Ψ_d, Ψ_q – потікозчеплення фаз статора певні за наслідками розрахунку поля.

Визначає амплітуду і напрям вектора потікозчеплення потоку статора:

$$\Psi_\Sigma = \sqrt{\Psi_d^2 + \Psi_q^2}$$

$$\beta = \arctan \frac{\Psi_d}{\Psi_q}$$

На рис. 4 представлена векторна діаграма двигуна.

ЕРС двигуна визначається співвідношенням

$$E = \omega_c \Psi_d \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) = n k \Psi \cos(\psi), \quad \psi = \theta - \frac{\pi}{2}$$

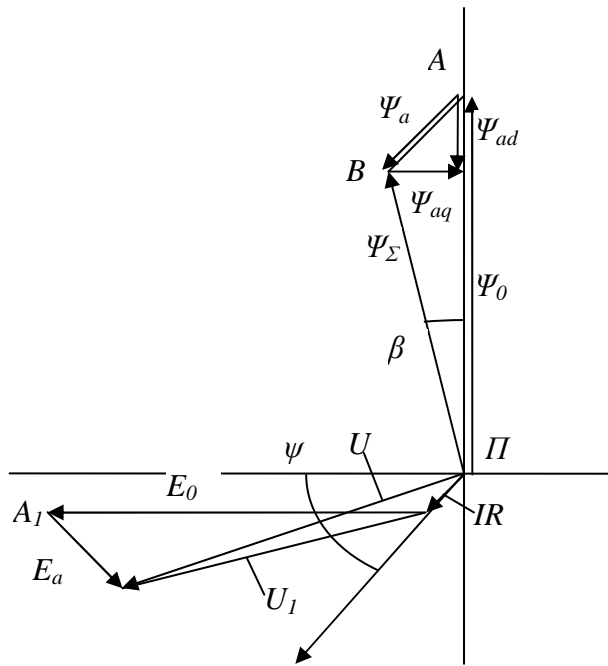


Рис. 3 Векторна діаграма синхронного тягового двигуна

де ω_c – кутова частота напруги статора, Ψ_d – діюче значення потікозчеплення холостого ходу, θ – кут навантаження, n – частота обертання, k – коефіцієнт, визначуваний співвідношенням $k = \frac{p \pi}{30 \sqrt{2}}$, Ψ – максимальне значення потікозчеплення холостого ходу, p – число пар полюсів.

У векторній діаграмі трикутник потоків ABC подібний трикутнику напруг $A_1B_1C_1$ тому

$$U_1 = \Psi_{\Sigma} k n \cos(\psi)$$

Напруга статора згодна, векторної діаграми визначається рівнянням:

$$U^2 = (IR)^2 + U_1^2 + 2U_1IR \cos(\psi - \beta) \quad (1)$$

де R – активний опір фази обмотки статора, I – струм фази статора

Перетворимо вираз (1) до вигляду

$$n^2 (k^2 \Psi_{\Sigma}^2 \cos^2(\psi)) + n (2 k \Psi_{\Sigma} IR \cos(\psi) \cos(\psi - \beta)) + ((IR)^2 - U^2) = 0 \quad (2)$$

Вираз (2) – рівняння щодо частоти обертання. Вирішивши це рівняння отримаємо:

$$n = \frac{\sqrt{4 k^2 \Psi_{\Sigma}^2 (IR)^2 \cos^2(\psi) \cos^2(\psi - \beta) + 4(U^2 - (IR)^2) k \Psi_{\Sigma} \cos(\psi)} - 2 k \Psi_{\Sigma} IR \cos(\psi) \cos(\psi - \beta)}{2 k \Psi_{\Sigma} \cos(\psi)}$$

Таким чином, можна визначити частоту обертання двигуна при будь-якому заданому куті навантаження. На рис. 4 приведена механічна характеристика, отримана за наслідками розрахунку магнітного поля.

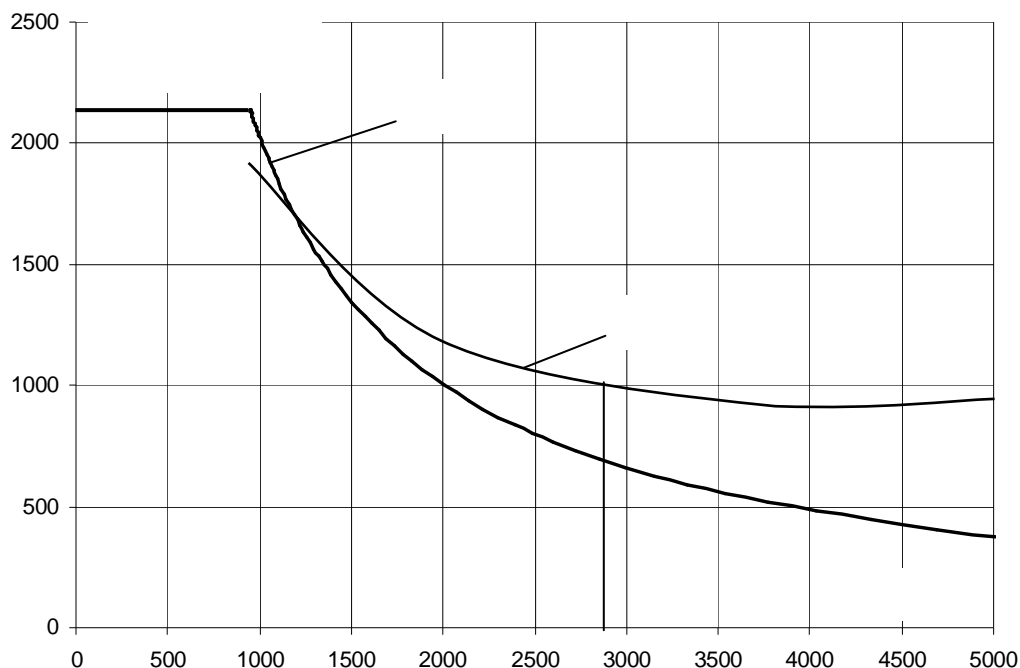


Рис. 4 Механічна характеристика тягового синхронного двигуна

Як видно з рис. 4 максимальна частота обертання при мінімально допустимій індукції в магніті 0,1 Тл складає 2855 об/хв

Висновки

1. В роботі запропонована методика розрахунку механічної характеристики тягового синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів за наслідками розрахунку магнітного поля.
2. Визначено, що максимальна частота обертання тягового синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів визначається мінімальною величиною нормальної складової магнітної індукції на поверхні полюса.
3. Запропонований алгоритм визначення максимальної частоти обертання тягового синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів, яка визначає конструкційну швидкість рухомого складу з такого типу тяговими двигунами.

Література

1. Омеляненко В.И., Любарский Б.Г., Рябов Е.С., Демидов А.В., Глебова Т.В. Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава // Локомотив-информ. – 2008. – №1. – С. 16–19.
2. Alstom makes advances in traction power: Alstom Transport has successfully completed a prototype development program for permanent magnet motors for railway traction applications // International Railway Journal, April, 2004.
3. Next-Generation Shinkansen Drive Systems3. Next-Generation Shinkansen Drive Systems. Special Reports, 2006.
4. Тяговый двигатель с возбуждением от постоянных магнитов.// Железные дороги мира –2004.- №9 (Т. Klockow et al. Elektrische Bahnen, 2003 № 3, S. 107 – 112.)
5. Wilhelm Hackmann. Systemvergleich unterschiedlicher Radnabenantriebe für den Schienennahverkehr: Asynchronmaschine, permanenterregte Synchronmaschine, Transversalflussmaschine. Doktor-Ingenieurs vorgelegte Dissertation, Technischen Universität Darmstadt, 214p., 2003

6. Development Traction Motor for a Gauge Change Train. Hiroshi Hata, Mirou Kondo, Koichi Matsuoka // Quarterly Report RTRI, 2003, Vol. 44, No. 3, P. 117-120.
7. Eckart Nipp Permanent Magnet motor drives with switched stator windings / Royal Institute Technology, Stockholm 1999, 315pp.
8. David Meeker Finite element method magnetics, <http://femm.berlios.de>

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО
СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ
МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, Т.В. Глебова, М.Л. Глебова, Д.Ю. Зюзин

Рассмотрена методика расчета механической характеристики тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов и определение максимальной частоты вращения по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов

METHOD OF COMPUTATION OF MECHANICAL DESCRIPTION OF
HAULING SYNCHRONOUS ENGINE WITH EXCITATION FROM PERMANENT
MAGNETS ON THE BASIS OF COMPUTATION OF MAGNETIC FIELD BY METHOD
OF FINITE ELEMENTS

B.G. Lyubarskiy, E.S. Ryabov, T.V. Glebova, M.L. Glebova, D.U. Zuzin

The simplified model is considered of magnetic field of engine with the transversal field allowing to identify the parameters of mathematical model of hauling drive on the basis of TFM.